

文章编号:1006-7329(2001)01-0053-05

外科手术室污染控制的数值模拟分析^{*}

万建武

(华南建设学院西院 环境工程系, 广州 510000)

摘要:就变化风速的送风口所产生的气流流型对外科手术室内的细菌浓度和人体舒适的影响进行了数值模拟分析。研究表明,与通常采用的均匀风速的送风口相比,变化风速的送风口对于降低手术室工作细菌浓度,防止病人手术切口及手术器械等回风气流携带的浮游细菌再次感染,以及减少手术室的送风量等方面具有明显的优点。

关键词:送风口;变化风速;均匀风速

中图分类号:TU834.8⁺63

文献标识码:A

外科手术室通风空调的主要目的,除了要求及时排除手术过程中产生的有害气体,为病人和医护人员提供一个具有良好空气品质的舒适环境外,还需要降低手术室空气中的浮游细菌浓度和减少病人手术切口和已消毒的手术器械被通风气流中所携带的浮游细菌再次污染的可能性。在外科手术室可采用的几种气流组织形式中,较好的一种处理方法是采用置换风的思想,让洁净空气从手术台的上方以较高的风速垂直送下^[1],然后迅速向外流动,用向下向外的气流在手术台周围造成洁净的工作区,并防止流经工作区的污染空气中的污染物向洁净的工作区扩散。本文就这种气流组织及可能采用的一些送风形式对手术室中污染物的分布及人体热舒适的影响作些模拟分析研究。

1 分析研究方法

本文采用 Rosten 和 Spallding 开发的流场计算软件进行数值模拟分析^[2],采用 $k-\epsilon$ 紊流模型。分析计算包括求解动量 v 、紊流动能 k 、紊流能量耗散率 ϵ 、污染物浓度 G 和焓 H 。模型方程可表示成下面的一般形式:

$$\frac{\partial(\rho\Phi)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho\vec{v}\Phi - \Gamma_{\Phi,eff}\nabla\Phi) = S_{\Phi}$$

式中: Φ ——因变量;

ρ ——空气密度,kg/m³;

v ——空气速度矢量,m/s;

Γ_{Φ} ——扩散系数,N·s/m²;

S_{Φ} ——单位体积因变量 Φ 的源项。

在评价由空气温度、流速和紊流强度对人体舒适的影响时,PD 值(对室内空气品质不满意人数的百分比)采用下面的热舒适方程^[3]:

$$PD = (34 - T_a)(v - 0.05)^{0.62}(3.14 + 0.37vI) \%$$

式中: T_a ——空气温度,℃;

v ——平均速度,m/s,当 $v < 0.05$ m/s 时,取 $v = 0.05$ m/s;

I ——紊流强度,%,定义为平均速度的脉动值,由下式确定:

* 收稿日期:1999-03-28

作者简介:万建武(1953-),男,湖南人,副教授,硕士,主要从事建筑环境与设备研究。

$$I = \frac{100(2k)^{0.5}}{v}$$

2 数值模拟分析计算

图1所示的是一较为典型的外科手术室的三维计算模型,手术室的长、宽、高取为5.6 m、5.6 m和2.8 m,为了节省计算时间,计算模型在x方向上取对称平面的一半进行。

手术室的内表面温度取20℃,送风温度取18℃。分析中假设送风口过滤器的过滤效率很高,送风空气中没有细菌进入手术室。

这里主要取两种方案进行对比分析,一种方案是送风口采用均匀的送风速度,另一种方案是把送风口分为三部分,从中心到外边分别采用不同的送风速度,风口中心部位的风速高于外边部位的风速。送风口尺寸为2.8 m×2.8 m,送风口四周挡板的高度为0.75 m。

一共对11种不同的组合条件进行了数值模拟分析,这里仅就如表1所示的具有代表性的4种工况的计算结果作些分析讨论,计算结果如图2~图5所示。

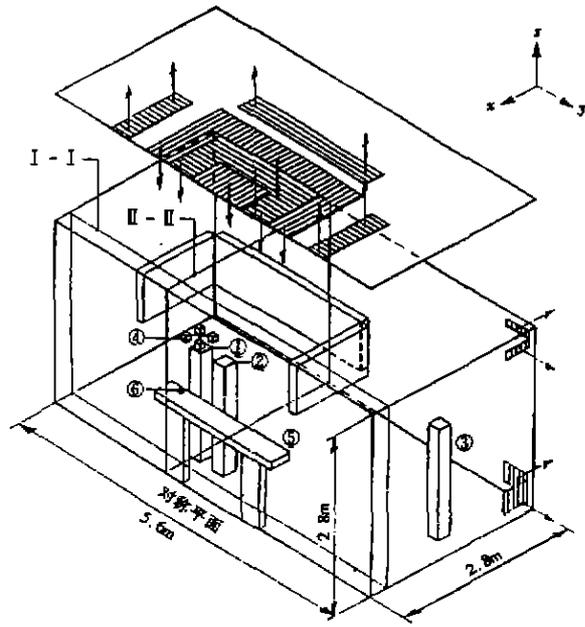


图1 外科手术室数值计算模型

- 1,2,3—医护人员(每人的发热量取75W);4—灯具(发热量取400W);
5—被对称面分割出的半边手术台和病人(半边病人发热量取37.5W);
6—细菌源,距地面为1.2m(细菌散发率取10个/s)

表1 数值模拟计算工况

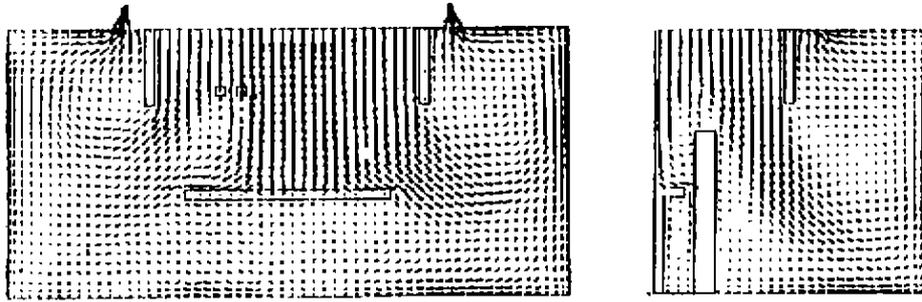
工况	送风量(m ³ /h)	送风口风速(m/s)		
		中心	中间	外部
1	5500	0.65	0.45	0.35
2	4250	0.55	0.35	0.25
3	5500	0.42	0.42	0.42
4	4250	0.33	0.33	0.33

3 数值模拟计算结果的分析与讨论

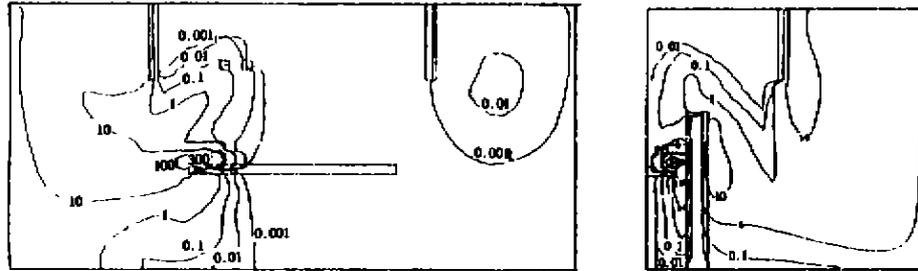
3.1 细菌分布状况

从计算结果可知,采用变化风速的送风口,手术室内细菌浓度<0.001个/m³(工况1)和0.001~1个/m³(工况2),都要比在相同风量下,采用均匀风速的送风口可得到的细菌浓度0.01~10个/m³(工况3)和1~100个/m³(工况4)要低得多。这表明变化风速的送风口可使送风口中心部位具有较高的送风速度,从而使人体、灯具发热所产生的热浮力对气流流型的影响作用降低,有效地防止了病源释放出的细菌在排出室外之前在环流携带下向手术台附近扩散,从而减少了病人手术切口等被再次感染的可能。

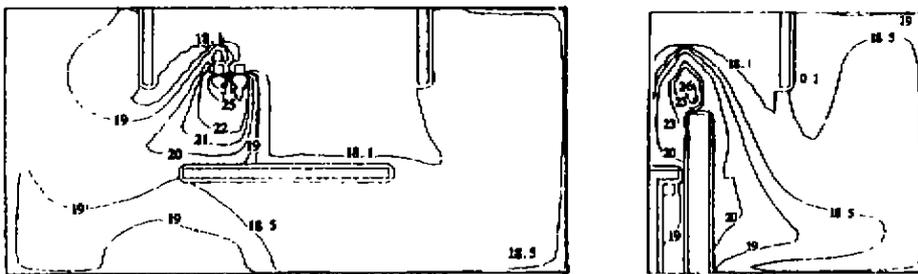
从计算结果还可看到,采用变化风速的送风口,即使采用较小的风量(工况2),手术室内细菌浓度(0.001~1个/m³)都要比均匀风速的送风口在较大风量下(工况3)的室内细菌浓度(0.01~



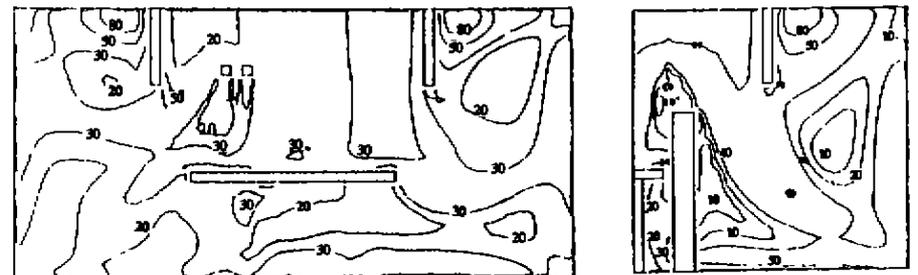
(a)速度场



(b)浓度分布(个/ m^3)



(c)温度分布(个/ m^3)

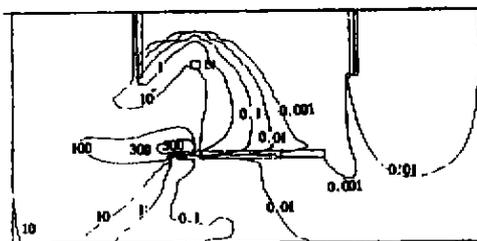


(d)因吹风感造成的FD值(%)

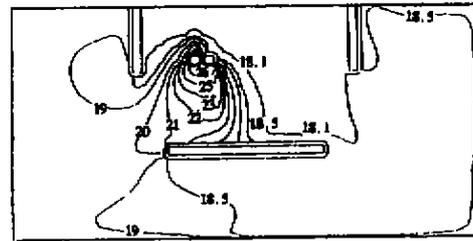
I - I 剖面

I - I 浓度分布(个/ m^3)

图 2 工况 1 数值分析结果



(a)浓度分布(个/ m^3)



(b)温度分布($^{\circ}\text{C}$)

图 3 工况 2 数值分析结果

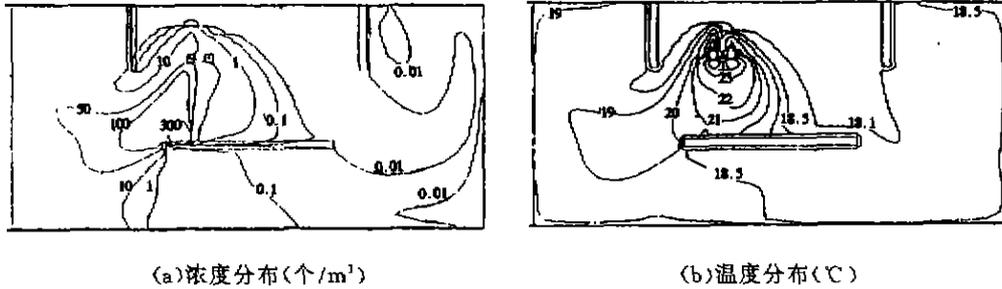


图4 工况3数值分析结果

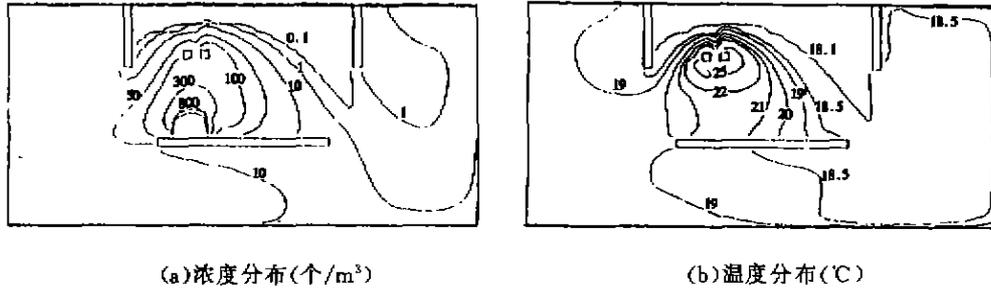


图5 工况4数值分析结果

10个/m³低得多。因此,变化风速的送风口所具有的这个优点,可使得在工程设计中用较小的送风量达到采用均匀风速送风口用较大风量才能达到的室内污染物浓度控制效果,对于减小手术室通风空调系统的投资和运行费用具有积极的意义。

分析计算还表明,在同一种风口风速分布情况下,风量减小,由于热浮力对气流流型的影响增加,会使污染源附近的细菌浓度增加,这种状况在采用均匀风速的送风口时更为明显,因此,为了获得良好的室内细菌浓度控制效果,需要有足够的通风量。

3.2 热舒适状况

从图2~图5的温度分布状况可知,除了灯具附近的温度梯度稍大外,手术室工作区的温度分布相当均匀,在18~23℃范围内,风量变化和送风口风速的均匀性对这种温度分布的影响并不大。但是,当送风量减少,手术室内的温度会略有升高。

从图2(d)可知,工作区内因吹风感造成的不满意人数的百分比(PD值)在30%以下,但仍显得偏大,这主要是因为工况1的送风量较大以及设定的送风温度较低的原因。对其它工况的计算结果表明,当适当减少风量或提高送风温度后,因吹风感所造成的不满意人数的百分比(PD值)随之减小,可得到相当好的热舒适环境。

4 结论

通过对外科手术室采用变化风速及均匀风速的送风口所产生的气流流型对手术室内的细菌浓度和人体热舒适影响的数值模拟分析结果可知:

1) 采用变化风速的送风口所产生的气流流型可使外科手术室的工作区获得很洁净的环境,有效地防止和减少病人手术切口及器械等被流经工作区的回风所携带的浮游细菌再次感染的可能性。

2) 采用变化风速的送风口可以用较小的送风量达到均匀风速送风口用较大的风量才能达到的室内污染物浓度控制效果,从而可减小空调系统的设备投资和运行费用。

3) 风量减少,热浮力对气流流型的影响增加,会使污染源附近的细菌浓度增加,这种状况在采

用均匀风速的送风口时更为明显。因此,对洁净度要求高的外科手术室要具有足够的通风量。

参考文献:

- [1] 范路英. 外科手术室空调通风系统设计初探[J]. 暖通空调, 1994, (3)
- [2] H. I. Rosten, D. B. Spalding. (1987) *The PHOEICS Reference Manual*, Technical Report 200(R). CHAM Ltd, London
- [3] P. O. Fanger. Introduction of the olf and the decipol units to quantify air pollution perceived by human indoors and outdoors[J]. *Energy and Buildings*, 1988, 12(1): 1-6

Numerical Simulation of Contaminant Concentration Control for Operating Rooms

WAN Jian-wu

(South China Construction University, Guangzhou 510000, China)

Abstract; With numerical simulation method the effect of the airflow pattern created by the exponential inlet on contaminant concentration and thermal comfort in an operating room was investigated. The research results show that compared with the uniform inlet velocity profile, the exponential inlet velocity profile has more advantages to get lower contaminant concentration, to prevent patient and operating apparatus in the operating area from infection by airborne disease germs and to reduce the airflow rate needed for pollutant concentration control.

Keywords; inlet; exponential velocity; uniform velocity